探索摄影测量技术在元宇宙图书馆中的创新应用——以西安交通大学图书馆俞茂宏捐赠藏品专题为例[*]

陈雅迪
西安交通大学图书馆 西安 710049

摘要：**[目的/意义]** 为助力特藏在元宇宙图书馆的揭示效果，建立了一套简便易行的工作流程完成实物特藏的三维建模，具有成本低、效率高、简便易行等优势。**[方法/过程]** 利用摄影测量方法，图书馆可采用普通的摄像设备和软件，快速生成高质量的 3D 模型。以西安交通大学图书馆俞茂宏教授捐赠藏品专题为例，应用摄影测量方法开展笔筒的图像采集、数据预处理、三维建模和质量分析，并建立专题库实现对特藏资源的存档、揭示和推广。**[结果/结论]** 基于摄影测量技术开展元宇宙图书馆的特藏三维建模，可以增强图书馆实物特藏的展示和传播力，提高用户的参与度和阅读兴趣，促进图书馆与用户之间的互动和交流，为图书馆的文化育人服务提供新的思路和可能性。

关键词：元宇宙 三维建模 摄影测量 实物特藏
分类号：G250

,

元宇宙是一种基于虚拟现实技术的数字化世界，可以实现人与人、人与物、物与物之间的无缝连接，为用户提供沉浸式的体验和无限的交互可能[1]。作为一种新兴技术，元宇宙在全球各产业领域掀起了新风口[2]，各国都在积极布局建设及投入[3]。我国也高度重视元宇宙发展，出台了一系列政策措施支持元宇宙技术的应用实践[4]。

作为信息与文化收藏、传播和服务机构[5]，图书馆界也充分认识到应当积极探索元宇宙的机遇和挑战，利用元宇宙的平台和工具，为用户提供更加丰富和多样的资源交互体验[6]。图书馆实物特藏是图书馆特藏的重要组成部分，它们具有独特的历史价值、艺术价值和学术价值，但由于其数量稀少、保存条件苛刻、展示空间有限等原因，往往难以得到充分的利用和展示。传统的三维建模方法往往需要投入较高的成本进行实物扫描和模型制作，制约了三维建模在图书馆领域的应用范围。因此，寻找一种简便易行的方法、将图书馆实物特藏转化为元宇宙图书馆中的资源是一个值得研究和探讨的问题。

1 相关研究

1.1 实物资源三维建模的相关实践

图书馆实物特藏的元宇宙化是指将图书馆的实物特藏通过数字化、三维重建、虚拟现实等技术手段，转化为元宇宙中的数字资源，从而实现图书馆实物特藏的展示、传播、利用和保护。目前，国内外一些知名的博物馆和图书馆已经开始尝试将其实物特藏转化为元宇宙中的资源，以提高其影响力和吸引力。例如，法国卢浮宫在今年 4 月宣布完成了对其 48 万件藏品资源的“全面数字化”，并在其网站上提供了一个名为“卢浮宫元宇宙”的虚拟空间，让用户可以在线上欣赏卢浮宫的艺术珍品[7]。英国大英博物馆也在今年 6 月推出了一个名为“大英博物馆元宇宙”的虚拟空间，让用户可以在虚拟现实中探索大英博物馆的历史和文化[8]。

尽管博物馆似乎是三维建模技术的更为常见的应用者，而图书馆则往往被认为是保存书籍、手稿等二维类型的资料。但事实上，图书馆保存的任何藏品实际上都不是二维的，特别是图书馆的特藏。正如英国图书馆希伯来手稿数字化项目的数字策展人 Adi Keinan-Schoonbaert 所指出的：“图书馆比人们所想象的更有潜力来参与 3D 建模” [9]。目前，英国图书馆、苏格兰国家图书馆、剑桥数字图书馆和昆士兰州立图书馆均对其部分特藏和印刷品进行了 3D 建模并进行发布[10]。印第安纳大学图书馆使用三维建模技术，为其收藏的美

国原住民文化遗产制作了三维模型并进行发布[11]。香港浸会大学图书馆为了增进公众对各学科及相关人才的了解，采用 360 度互动式旋转影像开发了 HKBU Heritage 平台展示精选教师机优秀学生作品[12]。图书馆利用三维扫描技术，将图书馆的实物资源的形状、纹理、颜色等信息转化为数字模型，从而提高其可访问性和可视化效果，既可用于保存和展示文化遗产，也可用于教育和研究。

总体来看，国外已经有很多机构开始尝试将实物特藏转化为 3D 资源，并取得了一定成效。相比之下，我国处于起步阶段，因此，寻找一种简便易行的实物资源三维建模方法，对于赋能我国图书馆的元宇宙建设具有重要意义。

1.2实物资源的摄影测量三维建模方法

目前，对于实物对象开展三维重建一般采用激光扫描仪[13]、结构光扫描仪[14]等方法，获取实物表面数据，然后通过软件进行重构和优化，生成三维模型。通过发射激光脉冲，记录其返回延迟已确定距离点，生成对目标对象表面几何形状和纹理。该方法可以复制实物的形状和特征，以实现数字化保存和展示[15]。这种方法需要精密而昂贵的测量仪器和技术生成的 3D 数据，其成本和复杂性曾经限制了三维建模的应用范围，而随着近年来新技术的发展，3D 数据的创建和使用已变得更加广泛，基于摄影测量的方法极大地降低了 3D 数据获取和处理的硬件和软件成本[16]。摄影测量可以利用普通的数码相机来捕捉物体，不需要昂贵的专业设备，它被应用于从微观到宏观、从室内到室外的各种尺度和场景[17]。

摄影测量方法是一种利用摄影测量原理和技术，通过从稍微不同的角度拍摄至少两张照片来计算空间或物体的三维坐标的技术。通过测量每张照片中点的垂直（y 轴）和水平（x 轴）位置的变化，可以计算出相机到相关物体的距离，从而产生深度（z 轴）数据。基于摄影测量技术可通过数百张捕获的图像来生成高度详细的 3D 数据，近而生成多边形网格形式的 3D 模型。

利用摄影测量方法，图书馆无需购买额外的设备，利用现有的相机等拍摄设备或图像数据即可完成实物资源的三维重建。例如，马萨诸塞大学的研究人员利用摄影测量制作了创建活体动物的开放访问模型[18]；在 sketchfab 平台上发布的大量博物馆、图书馆的特藏三维模型，均利用摄影测量法完成三维建模 [10]。

尽管摄影测量方法在三维建模方面具有简便易行的优势，但应用于图书馆实物资源的建模还需要一些特殊的工作流程。例如，对于特藏的数字化采集，需要考虑文物的材质、形状、颜色等因素，在数字化采集过程中产生的大量数据，还需要进行数据的转化和管理。因此，在图书馆实物资源的三维建模中，需要结合具体情况制定相应的工作流程，以确保数字化采集和三维建模的质量和效率。西安交通大学图书馆在俞茂宏教授捐赠笔筒的图书馆实物资源的数字化采集和三维建模方面应用了摄影测量技术，并根据藏品特点制定了一套行之有效的工作流程。

二 俞茂宏教授捐赠笔筒藏品的数字化流程

俞茂宏教授笔筒特藏专题主要包含俞茂宏教授向图书馆捐赠的 400 余件珍贵笔筒。作为中国传统文化的有形载体，藏品承载了中华传统文化“圆满”与“和合”的精神内核。这些珍贵笔筒不仅代表了中国传统文化的精髓，也是中国书法、绘画、雕刻等艺术形式的重要组成部分。由于这些珍贵笔筒的数量众多，工艺复杂，为了满足数字化采集和三维建模的需求，图书馆采用了逆向建模中的摄影测量方法，通过从不同角度拍摄照片来获取珍贵笔筒的表面数据，然后通过软件进行重构和优化，生成三维模型。这种方法可以忠实地复制实物的形状和特征，以实现数字化保存和展示。

摄影测量的基本方法是首先通过从不同角度拍摄物体，获得具有不同视点下的重叠照片作为立体像对；利用三角测量的原理，通过在两张或多张照片上测量同名点，计算出物体上任意点的照片在空间中的坐标，从而生成一个点云数据。然后，根据物体的三维坐标生成线

框模型或表面模型，将点云数据转换为多边形网格，并将原始照片上的纹理投影到网格上，生成彩色纹理，形成具有真实质感的三维模型。根据摄影测量技术原理，图书馆构建了实物馆藏的三维建模工作流程，包括图像采集，数据预处理、三维重建和归档展示四个环节。

2.1 实物资源的多视点图像采集

摄影测量的建模质量依赖于每张照片之间相似图案的识别，因此对于实物资源的建模需要建立多角度全方位的拍摄策略。对于静态实物的多角度测量可以通过摄影师围绕拍摄藏品移动一周，从不同视角拍摄多张照片的方式来采集；也可以选择将藏品置于转盘上，在转动过程中，以固定机位方式对藏品进行拍摄采集。由于摄影测量的三维建模需要确保每张照片之间都有重叠的区域、避免环境光照的剧烈变化，如果利用第一种方式进行图像采集，对象四周的照明环境和背景往往具有一定的差异，因此，在实物资源的多视点图像采集方面，选用了第二种固定机位的方式，在摄影棚中藏品进行拍摄，并建立了一套高效工作流程开展图像采集。

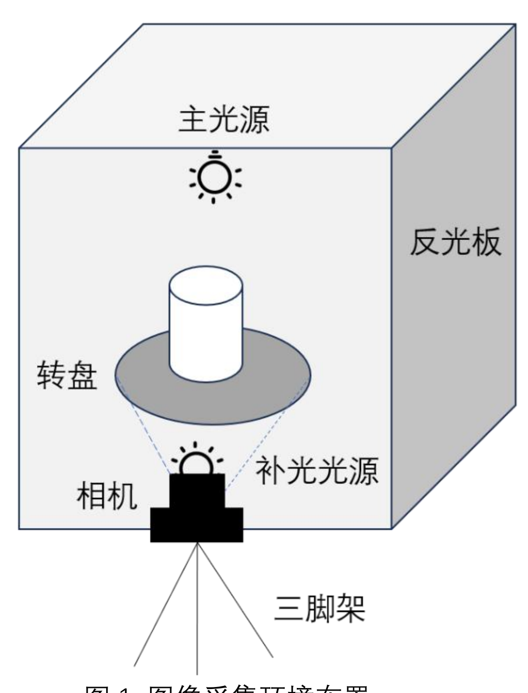


图 1 图像采集环境布置

为了保证多角度拍摄的光照一致性，图书馆建立了小型摄影棚用于实物资源的多视点图像采集。摄影棚包含相机、三脚架、背景板、转台、照明设备和包含反射板的软箱。其中，拍摄设备为单反相机，通过调整快门速度、光圈和 ISO 等参数确保所拍摄的图像质量可清晰反映所拍摄实物的细节。为确保相机的位置、角度不变，采用三脚架对相机进行固定。将拍摄目标放置于转台上，使之匀速转动，并通过相机拍摄至少旋转一周的影像。经过多次拍摄测试，确定了实物资源的拍摄策略：

2.1.1 对象放置策略

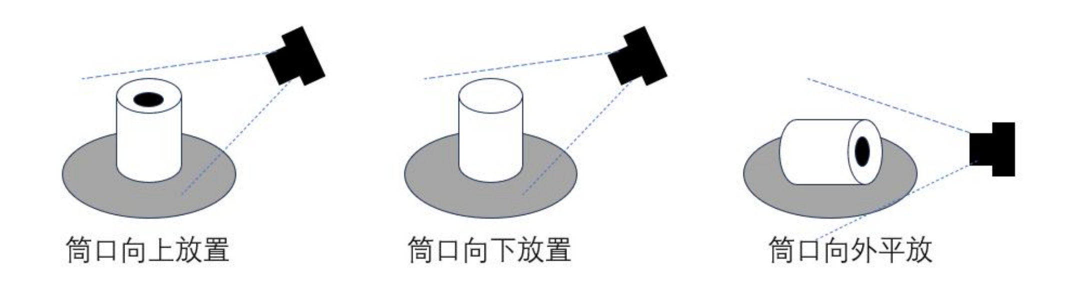


图 2 对象放置策略示意图

三维建模的质量取决于对实物资源内外表面的全面拍摄。如果仅仅将实物资源正面向上拍摄一周是不够的。因为摄像机无法实现对实物底部和内表面的捕捉，建模结果往往将出现底部和地面的粘连、模型内部纵深不足的问题。因此，对于笔筒类型的实物资源，至少需要在拍摄时进行三个方向的放置：筒口向上放置、筒口向下放置和筒口向外平放。其中，筒口向上放置时的拍摄主要用于捕捉笔筒顶部及外表面的细节；筒口向下放置时的拍摄主要用于捕捉笔筒底部及外表面的细节，在这两种对象放置的情况下，相机采用斜向下 15 度左右的俯拍视角进行拍摄。筒口向外平放时的拍摄主要用于捕捉笔筒内表面的细节，此时相机视角应当与筒口方向平行，以便尽可能的观测到各个角度的内表面细节。如果平放时的单次拍摄不足以捕捉个方向内壁细节，则应当对模型旋转后再次平放，使被遮挡部分的内壁进入摄像头视野，重新调整相机参数进行对焦后进行拍摄。

2.1.2 照明环境设置

为了尽可能确保多角度拍摄下的光照的一致性，采用面光源进行照明。面光源是一种均匀的光源，可以确保物体的每个部分都受到相同的照明。此外，在拍摄棚内软箱光源四周放置反射板，以便将光线反射回物体并填补任何阴影，从而确保每张照片之间的光照一致，便于后期三维建模处理。

上述照明策略可用于笔筒类型实物资源的外表面图像捕捉，但对于具有纵深的笔筒内面而言，环境光源往往不足以深入其中。在光照不足的情况下，将会明显影响对于实物内部的建模质量。针对该问题，利用线光源从相机拍摄角度进行正向补光，以便深入笔筒内部并捕捉更多细节。

2.1.3 背景环境设置

摄影测量时需要选择合适的环境，尽量选择具有纯色背景的拍摄背景进行数据采集，避免玻璃围墙、瓷砖和打蜡地板等强反光材料环境。此外，为了避免三维建模时对象和背景出现粘连问题，在背景环境的选择方面，需要选择与对象颜色反差较大的背景，例如对于木材质的笔筒拍摄时，可选择白色背景、对于玉质的笔筒拍摄时可选择浅黄色背景等，从而突出对象与背景的区别。特别是，对于转盘颜色和四周背景颜色之间也应具有一定的区别性，将有助于确定对象空间结构关系。

2.2 图像采集数据的处理过程

当实物资源的图像采集工作完成后，每个实物资源将对应一组多角度拍摄下旋转一周的笔筒视频。要产生可供摄影测量三维建模的图像，需要对拍摄视频进行采样。所采样的图像数量不能太少，因为摄影测量需要充分体现不同角度之间对象图案的重叠性，以便实现同名点匹配；采集的图像也不宜过多，例如，如果直接将视频中每一帧图像都抽取出来进行处理，计算复杂度将大大增加，还容易造成数据过拟合建模失败的问题。经过实际测试，针对旋转周期为 30 秒的转盘，采用每 6 帧图像采样一张图片用于三维建模较为合适。

为了确保建模的质量，在图像的预处理中，应当去除噪声、调整图像亮度、对比度等，以提高后续处理的效果。这些预处理步骤可以帮助我们获得更清晰、更准确的图像，从而提高三维建模的质量。在去除噪声方面，可以使用图像滤波器来平滑图像并去除噪声。在调整图像亮度和对比度方面，可以使用直方图均衡化等技术来增强图像的对比度和亮度。这些预处理步骤可以提高图像的质量，进而提高三维建模的成功率。

2.3 实物资源的三维重建过程

在三维重建过程中，摄影测量软件可以通过多张照片来构建出一个真实的三维模型。这个过程包括以下几个步骤：首先，需要拍摄多张照片来覆盖整个物体表面；然后，使用摄影测量软件提取这些照片中的特征点，并计算它们之间的相对位置；最后，将这些特征点转换为三维坐标，并生成三维模型。目前，有多种摄影测量软件支持对实物资源的三维重建过程。例如，CapturingReality 的 RealityCapture 、Agisoft 的 PhotoScan 等。国产软件中，重建大师和云端地球也支持摄影测量方法的三维重建。

表 1 常用摄影测量软件比较

软件名称	基本介绍	优点	缺点
RealityCapture	由捷克共和国的 Capturing Reality 公司开发的三维重建软件，可以从无人机、手动或飞机拍摄的图像中自动转换出高精度的地理参考 2D 地图和 3D 模型。	1 可以处理大量的照片，生成高质量的三维模型。 2. 可以自动对齐照片、生成点云、添加纹理等。 3. 支持多种三维数据格式。	操作相对复杂，需要一定的学习成本、价格较高。
Agisoft PhotoScan	Agisoft PhotoScan 是俄罗斯的 Agisoft LLC 公司开发的一款易于上手的三维建模软件，可以处理大量的照片，生成高质量的三维模型。	1. 操作简单，易于上手。 2. 可以处理大量的照片，生成高质量的三维模型。 3. 可以自动对齐照片、生成点云、添加纹理等。	对于数据处理的容错率较低，易报错。三维效果还有待提高。
重建大师	重建大师是武汉大势智慧科技有限公司一款智能化三维重建软件，可以从无人机拍摄的图像中自动转换出高精度的地理参考 2D 地图和 3D 模型。	1. 支持超大规模实景三维集群建模软件。 2. 应用内容感知技术提高模型建模效果。 3.支持多源数据融合场景。	重建优化虽然能够加快重建速度，但是会导致文件大小增加
云端地球	云端地球是武汉大势智慧科技有限公司 推出的免费三维重建云平台。	1. 操作简单，易于上手。 2. 支持多种数据格式导入和导出。 3. 可以在浏览器中使用。	在低速网络环境下可能会出现卡顿现象。不支持离线使用。

根据实物建模的实际需求，综合考虑摄影测量各个软件的优缺点和使用场景，选择采用云端地球软件进行三维建模。该软件采用云端建模方式，建模时先将采集图像上传到云端，在云端完成建模过程，最后将建模成果下载到本地电脑。相比传统的建模方式，云端建模处理时不占用电脑本地 CPU 和内存，无需下载安装建模软件，使用办公电脑、利用云端算力即可完成建模。

图书馆利用云端建模开展实物特藏的三维重建过程，包括以下环节：注册使用账号、设定转台模式、上传需要进行重建的影像数据、提交处理任务。等待任务处理完成后，账号绑定手机将收到处理结果通知。所创建的三维模型可在浏览器中直接预览，并导出为 OBJ 格式文件。该过程操作非常方便，无需专业背景、无需设定拍摄相机位置、姿态参数即可完成高效的三维建模。

2.4 三维模型质量控制及归档

三维模型在输出后，馆员将对模型仔细检查，并和实际对象对比，以确保三维建模的质量。摄影测量作为逆向建模的一种方法，不可避免地存在着噪声和数据缺失等情况。当拍摄角度、照明环境和背景设置不够理想的情况下，直接利用软件建模的结果不能直接用于存档。常见问题包括：背景粘连、内表面细节不够、纵深不足、存在间隙等问题。针对每一种失败的情况，馆员建立了图像采集的补拍策略，并进行重新建模。另一种情况是模型主体存在微小瑕疵，则可以利用软件进行人工修补，无需重新建模即可完成修改。因此，对于微瑕的模型，采用 Blender 工具对于模型进行调整。




图 3 微瑕模型及修复效果

经过摄影测量方法生成的三维模型通常具有大量多边形，为了减少处理的时间和难度，需要对高密度的三维模型进行抽取，以简化模型结构。针对瑕疵局部的网格，可以通过创建与实物对象表面贴合的引导曲线来快速调整边缘布局。

在摄影测量软件中利用用照片为模型自动创建纹理贴图，当重新创建拓扑网格后，需要重新指定贴图的映射。在完成对三维模型的质量检验后，则可对模型录入特藏库进行统一的归档管理，便于搜索发现、数字策展和推广。

三 基于元宇宙技术的俞茂宏教授捐赠藏品专题库建设及推广

为了便于保存实物藏品的数字化对象，帮助用户更加深入的了解、发现、交互、使用资源，将中国优秀传统文化融入当代社会、激发观者对传统文化的自豪感和认同感，图书馆于 2022 年采用元宇宙技术建设了俞茂宏教授捐赠藏品专题库。专题库实现了对实物藏品的信息进行数字化保存和揭示，为用户展示了实物藏品的生动介绍。

3.1 基于通用型特藏资源发布平台的专题建设

在传统的专题资源库建设模式下，图书馆需要逐个针对特色资源投入建设，进而带来了数据重用性差、建设成本高、数据孤岛等问题。西安交通大学图书馆在 2021 年 CADAL 共建共享项目中承建了 CADAL 用型特藏资源发布平台建设，该平台可支持图书馆基于一套

平台发布多个特藏库，提供多类型资源的发布与揭示。特别是，对于三维模型类型的资源，支持通过 three.js 插件，实现在电脑或移动端浏览器的交互体验。

基于通用型特藏资源发布平台，图书馆建设了俞茂宏教授捐赠藏品专题库，专题提供了对 400 余件藏品的搜索发现、分类导航、数字展览和数字藏品的在线交互。根据宋代十门分类法，藏品被分为人物传写、花竹翎毛、山水林石、仙佛鬼神、畜兽虫鱼、蔬果药草、小景杂画、屋木舟车等类别，并在专题首页提供各类别资源的导航入口。

对于归档的数字化实物资源，支持在线浏览打开三维模型，支持用户进行放大、缩小、旋转、拖拽等交互，获得可媲美真实藏品的在线虚拟体验。通过将实物藏品与元宇宙虚拟现实技术相结合，物理的实体资源得以通过虚拟的数字化方式发布，从而在元宇宙图书馆中进行展示，既能为读者提供多样性、趣味性、沉浸式的体验，又能保护实物藏品不受人为影响损坏，丰富了藏品的揭示方式。

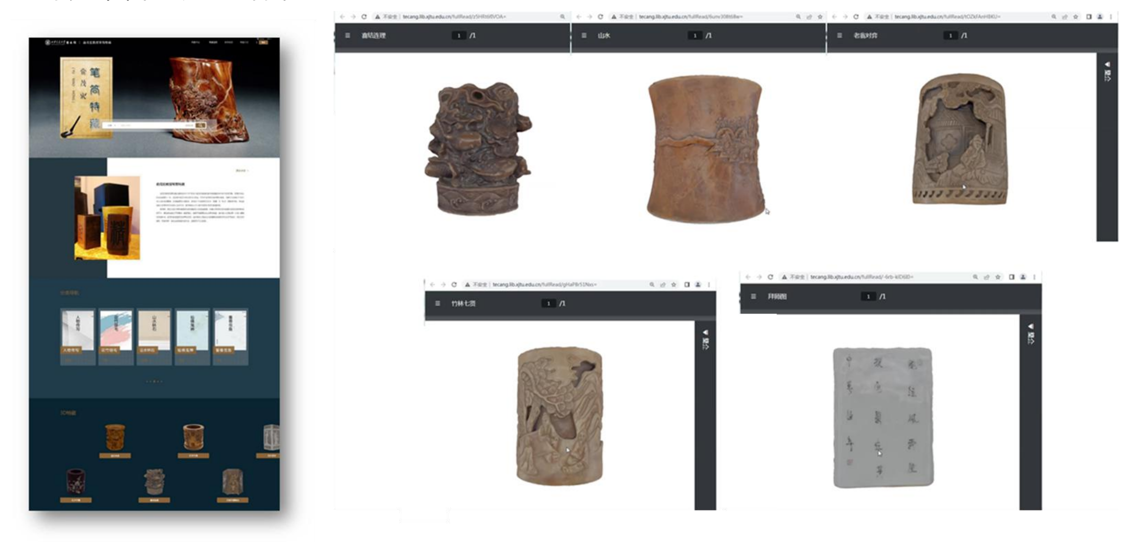


图 4 俞茂宏教授捐赠藏品专题及数字藏品示例

3.2 元宇宙藏品与 IIIF 技术下的数字策展相结合

作为一种开放式的数字图像协议，IIIF 技术自 2015 年兴起后得到了图博档领域的广泛关注，并被广泛应用于数字策展等过程中。传统的 IIIF 技术应用模式主要是在二维层面展示资源的高清图像，而在元宇宙图书馆中，可以将数字化藏品与 IIIF 技术相结合，利用 IIIF 发布线下展览图片，并结合语义标注功能，实现在数字展览中可交互标注区域与数字化藏品的关联，从而获得现实与虚拟相交融、真实与元宇宙展览共同发布的效果。

西安交通大学图书馆在特藏平台中，将俞茂宏教授专题藏品的线下展览在线上进行发布，并对每个特别介绍的展品制作标注内容。通过 IIIF 的语义标注功能，实现用户在欣赏展览的同时，点击打开数字藏品的链接，进一步的查看藏品的访问细节。利用数字技术，将 IIIF 与数字孪生对象相结合，对特藏资源进行跨媒介叙事和数字策展，展示特藏资源的形态特征、历史文化、学术价值等，增强用户的感知和体验。

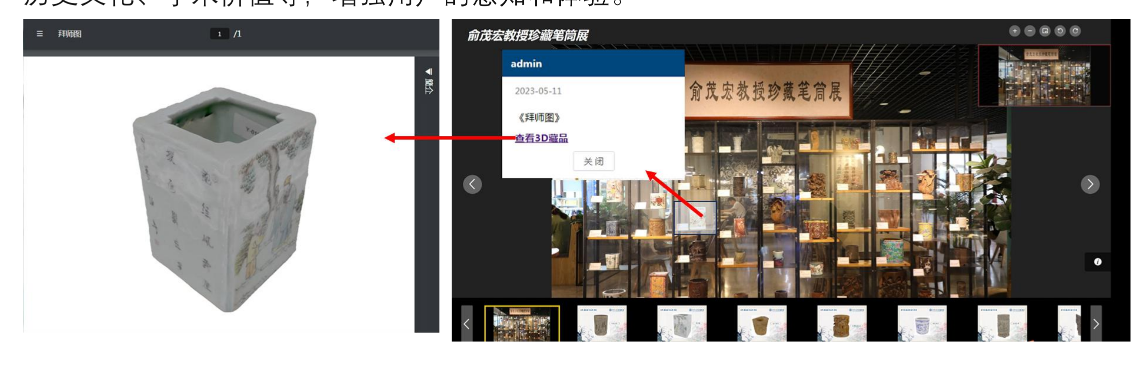
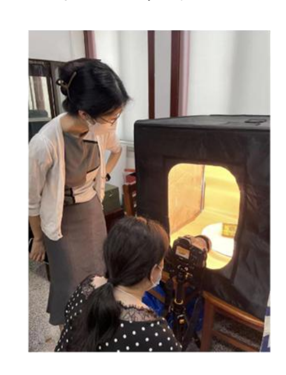


图 5 基于 IIIF 数字策展中的 3D 藏品

3.3 元宇宙图书馆建设与学生实践相结合的文化育人服务模式

在馆员团队方面，俞茂宏教授捐赠藏品专题主要是由资源建设部、信息技术部和办公室三个部门组成的专项工作小组开展建设。其中资源建设部门的馆员负责对特藏资源的元数据进行加工，包括细粒度的标签管理和数据质量控制；图书馆办公室的馆员负责实物类型特藏和线下展览的拍摄及信息组织，信息技术部的馆员负责平台的技术支撑，包括将特藏资源转化为可视化、可检索、可分析的数据。



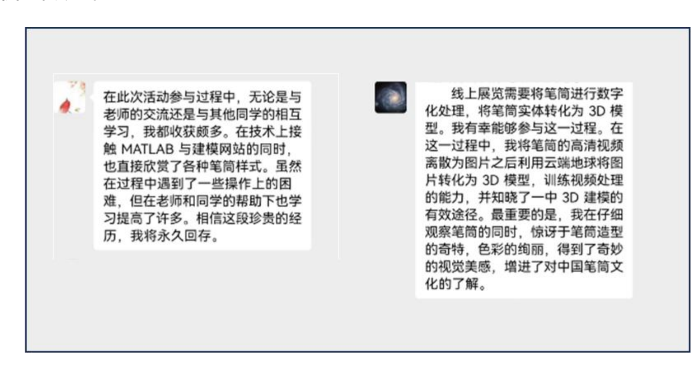


图 6 图像采集过程及部分学生的项目参与体会

作为文化育人的一部分，俞茂宏教授捐赠藏品专题库除了提供藏品推广的数字策展功能，还为学生提供了亲自参与三维重建的实践机会。一方面，学习者作为特藏资源的使用者，可以利用特藏资源开展自主学习、知识探索；另一方面，还可亲身参与到特藏平台建设项目建设过程中进行实践锻炼。例如，在技术部馆员的指导和支持下，对俞茂宏教授捐赠藏品专题，采用应用数字孪生技术，对藏品的转台拍摄视频进行三维建模，实现了 200 余件笔筒的全景展示。在参与特藏平台建设过程中，学习者不仅可以接触、学习并掌握数字技术，提升自身的数字素养和专业技能；还可以在参与资源的数字化再组织和数字化策展过程中，拓展知识视野和文化认知，深入了解藏品背后的历史价值和艺术价值，体会其中丰富的人文精神和社会意义。经过调研，参与特藏三维建设的同学们认为，在参与三维重建的过程中，既能锻炼了对视频处理、摄影测量的三维建模能力，提升了自身对元宇宙技术的运用能力；同时也从藏品的奇特造型、绚丽色彩中获得了美学熏陶，加深了对藏品文化的了解，

4 结语

本文深入探讨了摄影测量技术在元宇宙图书馆中的应用，以及如何将图书馆实物特藏转化为元宇宙图书馆中的资源。并以西安交通大学图书馆俞茂宏教授捐赠藏品专题中的笔筒建模为例，详细介绍了视频拍摄和 3D 建模的相关技巧和步骤，展示了在元宇宙图书馆中应用摄影测量的效果和价值，研究不仅为实物藏品在元宇宙图书馆的实施和推广提供了新可能性，也为元宇宙视域下的文化育人提供了一种崭新的思路。

参考文献：

[1] 喻国明,耿晓梦.元宇宙:媒介化社会的未来生态图景[J].新疆师范大学学报:哲学社会科学版, 2022, 43(3):10.
[2] 李勇坚.元宇宙:各国产业政策竞争的新疆域[J].科技中国, 2022(9):53-58.
[3] 王文喜,周芳,万月亮,等.元宇宙技术综述[J].工程科学学报(044-004)[2023-08-28].
[4] 冯江华.数字经济时代我国元宇宙产业的内涵特征,政策特点与发展趋势[J].新疆社科论坛, 2022(5):100-106.
[5] 刘天姣.大数据背景下高校图书馆的服务模式创新途径研究[J].文化创新比较研究,

2018(31):2.
[6] 范并思.图书馆元宇宙的理想[J].中国图书馆学报，2022，48(6):40-42.
[7] Chen C, Li Y, Wu Z, et al. Privacy Computing Meets Metaverse: Necessity, Taxonomy and Challenges[J]. arXiv preprint arXiv:2304.11643, 2023.
[8] Hutson J, Hutson P. Museums and the Metaverse: Emerging Technologies to Promote Inclusivity and Engagement[J]. 2023.
[9] Keinan-Schoonbaert, Adi. Can' t Judge a Book by Its Cover? Perhaps You Can[EB/OL].[2023-07-23] http://blogs.bl.uk/asian-and-african/2016/05/cant-judge-a-book-by-its-cover-perhaps-you-can.html
[10] Flynn T. What happens when you share 3D models online (In 3D)[J]. J. Grayburn, Z. Lischer-Katz, K. Golubiewski-Davis, & V. Ikeshoji-Orlati (Eds.) D, 2019, 3: 73-86.
[11] Wood Z M, William A, Copeland A. Virtual reality for preservation: Production of virtual reality heritage spaces in the classrooom[J]. 2019.
[12] 香港浸會大学图书馆.HKBU Heritage 介绍[EB/OL].[2023-07-28] https://heritage.lib.hkbu.edu.hk
[13] Huising E J, Pereira L M G. Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications[J]. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 1998, 53(5): 245-261.
[14] 熊耀阳，孙健，张富强等. 应用结构光三维扫描技术重建面部软组织形态的初步研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2007, 42(6): 340-342.
[15] Hanke K, Grussenmeyer P. Architectural photogrammetry: Basic theory, procedures, tools[C]//ISPRS Commission. 2002, 5: 1-2.
[16] Weinberg S M, Scott N M, Neiswanger K, et al. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system[J]. The Cleft palate-craniofacial journal, 2004, 41(5): 507-518.
[17] Hanke K, Grussenmeyer P. Architectural photogrammetry: Basic theory, procedures, tools[C]//ISPRS Commission. 2002, 5: 1-2.
[18] Bot J A, Irschick D J, Grayburn J, et al. Using 3D photogrammetry to create open-access models of live animals: 2D and 3D software solutions[J]. Grayburn et al., eds. D, 2019, 3: 54-72.